

Ti(C,N)계 서메트 공구의 조성변화가 절삭성능에 미치는 영향

박준석*, 김경재*, 김성원**, 권원태***, 강신후****

Effect of Composition on Cutting Characteristics of Ti(C,N) Cermet Tool

June Seuk Park*, Kyung Jae Kim*, Seong Won Kim**, Won Tae Kwon***, Shin Hoo Kang****

ABSTRACT

When WC and group IV elements are added to Ti(C,N)-Ni substrate, microstructures of the cermet is changed. The microstructure gives direct effect on the property of the material. In this study, the amount of WC and group IV elements of Ti(C,N) cermet tool was investigated. The composition of WC was changed from 5 to 20wt% to determine the effect of WC on the cutting performance of cermet tool. The more WC was added, the longer the tool life of the cermet tool was. The cermet with 20wt% WC showed the best fracture toughness. The effect of group IV elements; ZrC, ZrN and HfC was also investigated by adding each of them to manufacture the cermet tool with fixed 14wt% WC composition. The cermet with 1wt% ZrC and 14wt% WC showed the best cutting performance among the investigated cermet tools.

Key Words : Mechanical properties (기계적 성질), Cermet tool (서메트 공구), Flank wear (플랭크 마멸), Cutting force (절삭력), Acoustic Emission (음향방출)

1. 서론

서메트(cermet)는 세라믹(ceramic)과 금속(metal)의 합성어로서, 초기에는 경질의 세라믹을 연질의 금속으로 결합시킨 모든 복합재료를 의미하였으나 오늘날에는 특히 절삭공구 분야에서 WC-Co계 초경합금과 구별하여 미세조직상에 순수한 WC를 포함하지 않는 Ti(C,N)계 절삭공구 재료를 주로 의미한다.

서메트 절삭공구는 코팅 초경공구와 함께 대표적인 인서트형 절삭공구로 각종 금속소재의 절삭

가공에 확고한 위치를 확보하고 있다. 코팅 초경공구가 황삭, 중삭 등의 절삭가공에 주로 사용되는 반면, 서메트는 그 특성상 절삭깊이 $d=2.5\text{mm}$ 이하, 이송량 $f=0.25\text{mm/rev}$ 이하의 중·정삭조건에서 우수한 절삭특성을 나타내며, 특히 최근 들어 각종 피삭물의 우수한 표면조도의 요구와 함께 총형(net shape) 절삭기술의 확대에 따라 이에 적합한 서메트의 수요는 꾸준히 늘어나고 있다.^[1]

Ti(C,N)계 서메트는 WC계 초경재료에 비하여 우수한 화학적 안정성과 높은 경도, 내마모 특성을 가지나 파피인성, 내열 충격성, 내기계적 충격성

** 2002년 3월 18일 접수
* 서울시립대학교 기계정보공학과 대학원
** 서울대학교 재료공학부 대학원
*** 서울시립대학교 기계정보공학과
**** 서울대학교 재료공학부

등이 열등하여 중(重)절삭(roughing), 단속절삭(interrupted cutting)에는 사용이 제한되었다. 그러나 최근 소재의 특성이 혁신적으로 향상되어 과거의 황삭, 중절삭 등의 절삭력이 요구되는 형태에서 고속절삭과 같이 경도, 화학적 안정성이 요구되는 형태로 변화함으로써 이런 점에서 초경공구보다 월등히 우수한 성능을 나타내는 서메트 공구에 대한 요구가 급격히 늘어나고 있다.^[2] 서메트 공구의 절삭성능 향상을 위한 연구로, 승온 과정 중 액상출현과 동시에 합체를 일으키는 소결상의 문제가 있는 것으로 알려진 TiC-Ni 단순계에 전이금속의 탄질화물의 첨가, 질소분위기에서의 소결 등과 같은 새로운 공정법이 개발되어 미세구조 조절과 이에 의한 물성의 향상이 성과를 거두고 있고,^[3-6] 최근에는 절삭공구의 표면을 PVD, PCVD나 CVD 등의 기법을 활용하여 내마모성이 뛰어난 TiC, TiN, Al₂O₃의 단층 또는 적층의 코팅을 하여 절삭성능 향상 및 수명 연장이 가능하게 되었다.^[7-9]

본 연구에서는 Ti(C,N)-Ni 서메트 기본계에 물성향상을 위해 사용되는 WC, HfC, ZrN, ZrC와 같은 탄(질)화물 원소를 첨가한 후, Ni를 결합제로 하여 진공 분위기에서 소결한 Ti(C,N)계 서메트 공구를 제작하였다. 또한 이들 첨가물이 서메트의 기능적 특성에 영향을 미치는 미세구조의 분석과 조성 변화에 따른 단속절삭의 조건에서 절삭특성에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

2. 실험방법

2.1 분말 특성 및 시편조성

실험에 사용한 Ti(C_{0.7}N_{0.3}), WC, Ni, ZrC, ZrN, HfC 분말의 평균 입도, 화학량론적 비값, 제조 회사 등은 Table 1에 나타낸 것과 같다.

Ti(C_{0.7}N_{0.3})계 서메트에서 WC양의 변화에 따른 미세구조의 변화와 절삭성능을 알아보기 위하여 WC의 양을 5wt%에서 20wt%까지 변화시켰다. 또한 VI족 탄질화물 원소 첨가에 따른 절삭성능을 평가하기 위하여 WC의 양을 14wt%로 고정하고, VI족 탄(질)화물 원소인 ZrC, ZrN, HfC를 1wt%씩 첨가하여 서메트 공구를 제조하였다. 이때, 결합상인 Ni의 양은 모든 시편에서 20wt%로 동일하게 유지하였다. Table 2에 제조한 TW-series의 화학적 성분비와 소결 온도를 나타내었다.

Table 1 Characteristics of powders

Powder	Particle size (μm)	Manufacturer
Ti(C _{0.7} N _{0.3})	3 ~ 5	Kenametal
WC	1.88	H.C.Starck
Ni	4.2	Novamet
ZrC	-	H.C.Starck
ZrN	-	H.C.Starck
HfC	11.2	Aldrich

Table 2 Chemical composition and sintering condition of cermet

Tool materials	Chemical composition (wt%)	sintering condition
TW-5	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-5WC-20Ni	1510 °C/1hr
TW-10	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-10WC-20Ni	1510 °C/1hr
TW-15	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-15WC-20Ni	1510 °C/1hr
TW-20	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-20WC-20Ni	1510 °C/1hr
TW-14-ZrC	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-14WC-1ZrC- 20Ni	1450 °C/1hr
TW-14-ZrN	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-14WC-1ZrN- 20Ni	1450 °C/1hr
TW-14-HfC	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-14WC-1HfC- 20Ni	1450 °C/1hr

2.2 시편의 소결

TW-series의 소결은 일반적인 분말야금(powder metallurgy) 공정으로 행해졌다. Ni를 결합제로 하여, 주어진 조성으로 분말을 혼합한 후, 아세톤을 용매로 하여 WC-Co Ball과 같이 10시간 동안 밀링하였다. 혼합된 슬러리는 100°C의 오븐 내에서 건조되었다. 건조 후 응집체(agglomerate)에 의한 소결성 저하를 막기 위해 120mesh(<125μm) sieve로 체가림(sieving)하였다. 체가림된 분말은 100MPa의 압력을 가하여 13×13×5(mm)의 크기로 성형하였다. 소결은 뚜껑에 구멍이 있는 흑연 도가니에 담아 흑연발열체의 진공로에서 1시간 동안 저진공(~10-2torr)하에서 소결하였다. WC의 첨가량을 5wt%에서 20wt%까지 변화시킨 TW-series는 1510°C의 온도에서 소결을 진행하였고, VI족 탄질화물원소를 첨가한 TW-series는 1450°C의 온도에서 소결을 실시하였다. 소결의 간단한 절차와 사용된 heating schedule을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 서메트공

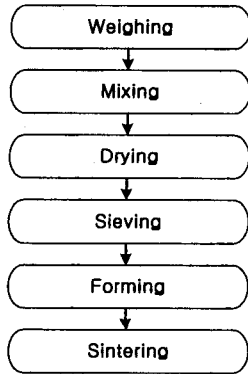


Fig. 1 Sintering procedure of cermets

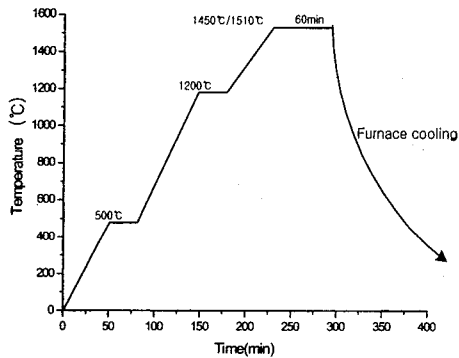


Fig. 2 Schematic diagram of heating schedule

구의 밀도는 아르키메데스법을 이용하여 측정하였으며, 입자압입법(Indentation Fracture Method)에 의해 파괴인성을 측정하였고, IV족 탄(질)화물 원소를 첨가시킨 서메트의 경우 시편의 기공상태가 좋지 않아서 파괴인성을 측정하지 않았다. Fig. 3 과 Fig. 4에 각 서메트공구의 경도와 파괴인성값을 나타내었다.

2.3 절삭특성 평가

Ti(C,N)계 서메트공구의 WC와 IV족 탄(질)화물 원소 첨가에 따른 절삭특성 비교시험에 있어서 내마모 시험은 TW-series를 SNGN 120408 규격으로 연삭한 후 가공실험을 함으로써 평가하였다. 이때 사용한 밀링커터의 규격은 직경 100mm의

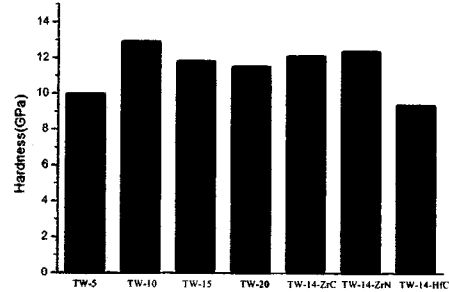


Fig. 3 Hardness of TW-series cermets

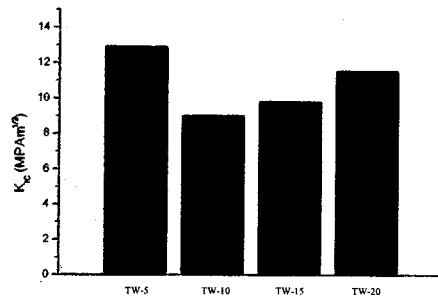


Fig. 4 Fracture toughness of TW-series cermets

Table 3 Cutting conditions

	Milling	Turning
Cutting speed	200m/min	160m/min
Feed rate	0.2mm/rev	0.2mm/rev
Depth of cut	1mm	0.5mm
Workpiece	SM45C, SCM440	SM45C

M415SN04R-12이고, 툴 홀더의 규격은 CSDNN 2525M 12CEA이다. TW-series 중 TW-5, TW-10, TW-15, TW-20은 WC의 첨가량이 5~20wt%로 각각 다르고, TW-14-ZrC, TW-14-ZrN, TW-14-HfC는 14wt%의 WC에 IV족 탄(질)화물 원소인 ZrC와 ZrN, HfC가 각각 1wt%씩 첨가되어 소결하였다.

정면밀링 가공 실험에서는 각각 SM45C와 SCM440을 피삭재로 사용하여 대우중공업의 머시닝센터 ACE-V500에서 v=200m/min, 이송량 f=

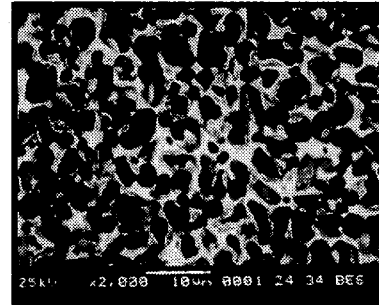
0.2mm/rev, 절삭깊이 d=1mm의 조건에서 실험하였고, 선삭 가공 실험에서는 SM45C를 피삭재로 사용하여 400×600의 일반 수동선반으로 절삭속도 v=160m/min, 이송량 f=0.2mm/rev, 절삭깊이 d=0.5mm의 조건에서 실험하였다. Table. 3에 절삭조건을 나타내었다.

절삭특성 실험에 있어서 공통적으로 절삭유를 사용하지 않는 건식절삭으로 하였고, 공구 현미경(Hanra Engineering, Micro Vision System SV-2000)을 이용하여 공구의 플랭크면 평균 마모량(V_B)을 측정하였으며, 플랭크면 마모량 300 μ m를 공구 수명으로 판정하였다. 절삭 시험동안의 절삭력과 AE 신호를 측정하기 위해 Kistler사의 9257B 공구 동력계와 Physical Acoustics Corporation의 AE 센서를 사용하였고, 측정된 절삭력과 AE신호는 데이터 레코더에 의해 저장된 후 Ni-DAQ -MIO16E-14 보드를 통해 A/D변환한 후 586PC에 저장한 후 해석하였다.

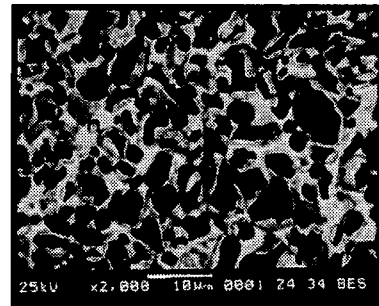
3. 실험결과 및 고찰

3.1 WC 함량에 따른 미세구조 형성의 변화

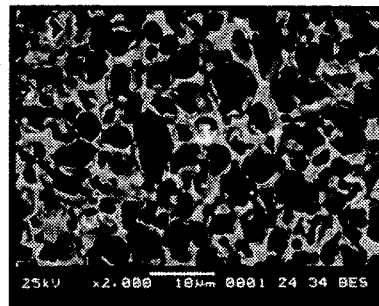
TW-series 중 WC의 함량을 5~20wt%로 변화시키며 관찰한 SEM 사진이 Fig. 5에 나타나 있다. 이러한 미세구조들은 전형적인 중심부-주변조직 구조를 나타내고 있는데, 다소 불규칙적으로 나타나있는 중심부-주변조직의 경계는 변형에너지(strain energy)의 존재로 인한 계면불안정에 의한 것이다. 주변조직과 경계(boundary)상 사이의 경계형태를 통하여 경계의 표면 에너지가 다소 등방성임을 알 수 있다. WC 함량의 변화에 의한 미세구조의 변화는 Ti(C,N)-Ni계에 추가되는 다른 탄화물들이 미세구조에 미치는 영향에 비하여 훨씬 적다. WC의 증가량에 비하면 주변조직의 두께는 상대적으로 얇은 상태로 남아있다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 Ti(C,N)-Ni계 내에서 WC의 Ni에 대한 용해비율이 VC나 NbC의 용해비율보다 더 크기 때문이다. 따라서 Fig. 6에 나타난 바와 같이 WC의 함량이 변화하여도 미세구조는 크게 변화하지 않는 모습을 보여 준다. 다만 WC의 양이 5wt%인 경우에는 주변조직을 형성할 수 있는 WC가 적기 때문에 주변조직의 양도 현저히 줄어드는 것이 SEM 관찰을 통하여 드러났다.



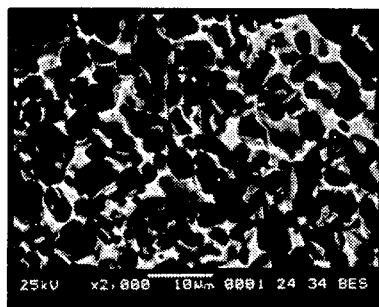
TW-5



TW-10



TW-15



TW-20

Fig. 5 SEM micrographs of TW-series cermet

3.2 WC와 IV족 탄(질)화물 첨가에 따른 절삭 성능 평가

피삭재로 SM45C를 사용하여 절삭속도 $v=160\text{m/min}$, 절삭깊이 $d=0.5\text{mm}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev}$ 의 조건에서 선삭 가공한 TW-series와 상용공구의 플랭크면 평균마멸량을 Fig. 6에 나타내었다. WC 첨가량을 변화시킨 TW-series는 5wt% WC를 포함하는 TW-5가 가장 공구수명이 짧고, WC 첨가량이 증가할수록 마모진행이 느려져 WC 첨가량이 15wt%인 TW-15가 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series 중에서 가장 공구 수명이 길며, 그 이상WC를 첨가시키면 다시 공구수명이 짧아진다. 모든 경우에서 상용 공구에 비해 공구수명이 짧다.

Fig. 7은 선삭 가공에서 IV족 탄(질)화물 원소를 첨가한 TW-series와 상용공구의 마멸량을 나타낸 그래프이다. WC첨가량을 14wt%로 고정하고, IV족 탄(질)화물을 1wt%씩 첨가한 TW-series의 공구마모 진행이 Fig. 8의 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series보다 3배 이상 느려졌으며, 상용공구보다 개선된 공구수명을 나타내었다. 상용 코팅 초경공구인 TT2500 (TeaguTec, SNMG120408)은 TiN-TiCN- Al_2O_3 -TiN은 경질 세라믹층이 코팅되어 절삭시 피삭재와 초경모재의 화학적 반응을 방지할 뿐만 아니라 고온에서 모재의 결합상인 Co으로 인한 소성변형을 억제함으로써 초기에는 우수한 성능을 보이지만, 초기 마모 후에 코팅 층의 박리가 일어나 코팅 초경공구의 마멸이 급격하게 증가하였다. 또한, 상용 선삭용 서메트 공구인 CT320(TeaguTec, SNMG 120408)은 코팅 초경공구와 유사한 마모 경향을 보이지만, 코팅 초경공구보다 고온경도와 고온에서의 화학적 안정성이 뛰어나 더 우수한 성능을 보였으나, IV족 탄(질)화물을 첨가한 서메트 공구보다는 공구수명이 짧았다. Fig. 8은 절삭속도 $v=200\text{m/min}$, 절삭깊이 $d=0.5\text{mm}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev}$ 의 조건에서 정면밀링 가공한 TW-series의 플랭크면 평균 마멸량이다. 모든 TW-series는 유사한 경향의 공구마멸 진행을 나타내고 있고, 선삭가공 실험의 결과와 마찬가지로 비교적 우수한 인성을 가지고 있지만, 5wt%의 WC를 포함하는 TW-5는 경도가 낮기 때문에 가장 빠른 마멸진행을 보여 정상적인 절삭이 어려웠다. 첨가량이 20wt%인 TW-20이 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series 중에서 가장 공구 수명이 길었다. 정면밀링 가공에서 IV족 탄(질)화물 원소를 첨가한 TW-series의 플랭크 마멸량을 Fig. 9에 나타내었다.

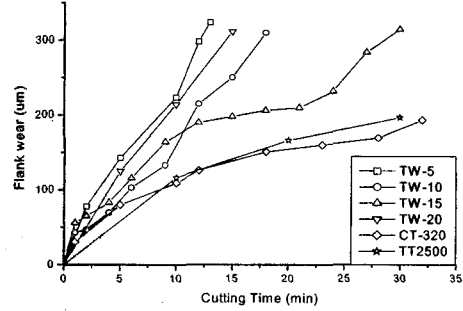


Fig. 6 Flank wear curves of TW-series and commercial inserts in turning of SM45C ($v=160\text{m/min}$, $d=0.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$)

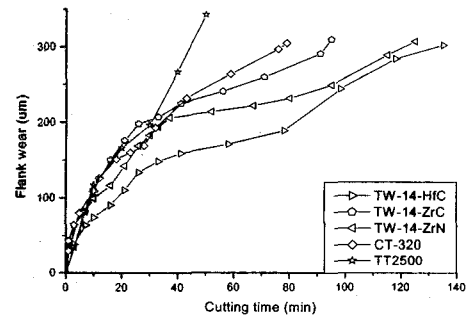


Fig. 7 Flank wear curves of TW-series and commercial inserts in turning of SM45C ($v=160\text{m/min}$, $d=0.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$)

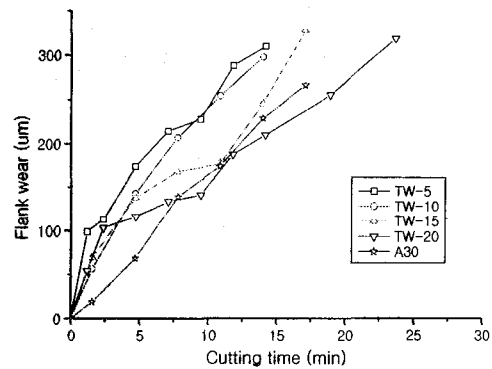


Fig. 8 Flank wear curves of TW-series and a commercial insert in milling of SM45C ($v=200\text{m/min}$, $d=1\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$)

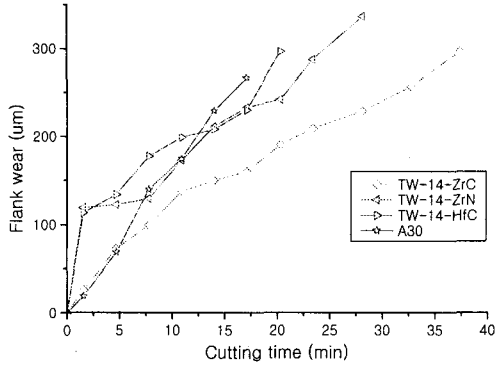


Fig. 9 Flank wear curves of TW-series and a commercial insert in milling of SM45C ($v=200\text{m/min}$, $d=1\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$)

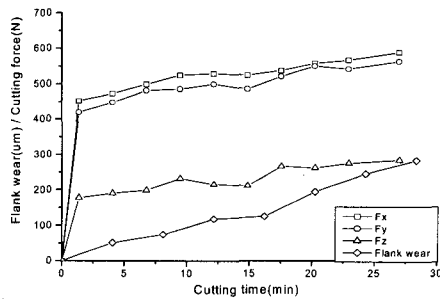


Fig. 10 Cutting force and flank wear curve of TW-14-ZrC inserts during machining SCM440 ($v = 200\text{m/min}$, $d = 2\text{mm}$, $f = 0.1\text{mm/rev}$)

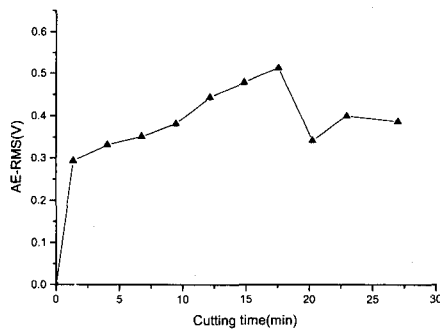


Fig. 11 AE-RMS signal curve of TW-14-ZrC inserts during machining SCM440 ($v = 200\text{m/min}$, $d = 2\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$)

위의 선삭가공 실험결과와 마찬가지로, 정면밀링 절삭실험에서도 IV족 탄(질)화물 원소의 첨가 특히, ZrC나 HfC 첨가에 의해 공구수명이 상당히 향상되었다. 모든 경우에 다 상용 밀링용 텅스텐 카바이드 공구인 A30(한국야금, SNKN 1204 EN)보다 우수한 마멸특성을 보였는데 그 이유로 추측되는 것은 일반적으로 탄화물의 첨가가 고온강도를 증가시키는데는 큰 영향을 주지 못하지만 ZrC나 HfC가 첨가될 때 고온강도가 증가되는 것이 보고되었다. 즉 1~2mol%의 ZrC나 HfC를 서메트에 첨가하는 경우 고온강도는 약 20% 정도, 경도는 약 10% 정도 증가하는 것이 관찰되었고, 이는 탄화물 골격체의 강화나 결합상의 탄성변형 중 전위의 동적 회복이 늦어짐에 의한 현상으로 해석되고 있다.^[7]

Fig. 10은 정면밀링 절삭에서 가장 우수한 성능을 보인 TW-14-ZrC 공구를 절삭속도 $V=200\text{m/min}$, 이송량 $f=0.1\text{mm/rev}$, 절삭깊이 $d=2\text{mm}$ 의 조건에서 피삭재 SCM 440을 절삭하였을 때의, 공구 마모량과 절삭력을 나타낸 그래프이다. 공구 마모량이 증가함에 따라 주절삭력, 배분력, 이송분력이 증가하지만, 마모의 진행에 따라 큰 변화는 없는 것으로 보인다. Fig. 11은 절삭 중 AE 신호를 나타낸 그래프이다. 절삭력의 경우와는 틀리게, AE 신호의 경우 공구 마모량에 따라 함께 증가하다가 공구의 마모가 약 $200\ \mu\text{m}$ 가 되는 지점에서 최대치를 보인 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 선삭가공 실험 중 공구 마모가 증가함에 따라 AE 신호도 증가하다가 다시 감소하는 추세를 보였는데,^[10] 서메트 공구를 사용한 단속절삭에서도 유사한 결과를 보였다. 이로써 단속절삭에서도 AE 신호가 공구마모를 감지할 수 있는 신호로 사용할 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

Ti(C,N)계 서메트에 WC의 첨가량을 변화시키고, IV족 탄(질)화물 원소를 첨가하여 소결한 TW-series를 제조하여, 정면밀링 및 선삭 절삭가공 실험을 하여 WC와 IV족 원소 첨가에 따른 미세구조 변화와 Ti(C,N)계 서메트공구의 절삭성능에 미치는 영향에 대하여 비교 분석하였다.

- 1) Ti(C,N)계 서메트공구에 WC 첨가량이 5, 10, 15, 20wt%일 때, 절삭조건에 따라 WC의 첨가량이 15wt% 또는 20wt% 일 때 공구수명이 가장 길

- 었으나, 최상의 경우에도 상용공구와 유사한 공구수명을 보였다.
- 2) IV족 탄(질)화물의 첨가로 Ti(C,N)계 서메트 공구의 공구 수명이 크게 증가하였다.
 - 3) IV족 탄(질)화물을 첨가한 TW-series 중 단속 절삭시에는 소량의 ZrC의 첨가가, 선삭시에는 소량의 HfC 첨가가 절삭성능을 크게 향상시켰다.

후 기

이 논문은 2001년도 한국과학재단 특정기초 연구비로 지원된 연구결과입니다(R01-2001-00255).

참고문헌

1. 안동길, "초마립 서멧 절삭공구의 절삭성능과 기계적 특성," 한국정밀공학회지, Vol. 18, No. 4, pp. 182-189, 2001.
2. Zhang, S., "Titanium carbonitride-based cermets : process and properties," Mat. Sci. and Eng., A 163, pp. 141-148, 1993.
3. Matsubara, H., Shin S. and Sakuma, T., "Growth of TiC and Ti(C,N) Base Cermet During Liquid Phase Sintering," Solid State Phenomena, 25 & 26, pp. 551-558, 1992.
4. Suzuki, H., Matsubara, H. and Saitoh, T., "The Microstructures of Ti(C,N)-Mo₂C-Ni Cermet Affected by WC Addition," Japan Soc. of pow. and pow. Metall., 31(7), pp. 236-240, 1983.
5. Miller, D. J. and Pask, J. A., "Liquid Phase Sintering of TiC-Ni composites," J. Am. Cer. Soc., 66(12), pp. 841-846, 1983.
6. Humenik M. and Parikh, N. M., "Cermets : I, Fundamental Concepts Related to Microstructure and physical properties of Cermets Systems," J. Am. Cer. Soc., 39(2), pp. 60-63, 1956.
7. D'Errico, G., Guglielmi, E., "A comparative study of PVD coated cermet insert for milling application," J. of Mat. Processing Technology, 78, pp. 48-52, 1998.
8. Rie, K. T., Gebauer, A., Wohle, J., "Plasma assisted CVD for low temperature coatings to improve the wear and corrosion resistance," Surface and Coating Technology, 86-87, pp. 498-506, 1996.
9. Tonshoff, H. T., Blawit, C., "Development and evaluation of PACVD coated cermet tools," Surface and Coating Technology, 93, pp. 119-127, 1997.
10. 맹민재, 정준기, "선삭가공에서 공구마멸에 따른 절삭력과 AE 신호의 특성 연구," 한국공작기계학회지, Vol. 4, No. 2, pp. 18-24, 1995.